



TMI-2號爐의 복구작업에서는 原子爐의 除染에서부터 損傷된 爐心의 철거까지 일련의 作業이 行하여지고 있는데, 이 作業을 통해서 얻어진 정보에 의해서 앞으로 原子爐를 한층 더 安全하게 하는데 도움이 되는 귀중한 정보가 많다.

1. 序論

1979년 3월 28일에 美國 펜실바니아주 트리마일 아일랜드에서 발생한 TMI原子力發電所 2號爐(TMI-2)의 事故는 爐心에 준 損傷의 크기, 社會에 준 영향의 관점에서 상업용발전로의 사고로는 최대의 것이었다. 事故發生의 원인과 경과에 대해서 수 많은 조사가 행해져서 많은 교훈을 얻음과 동시에 앞으로의 原子爐安全性向上을 위한 對策이 각국에서 취해져 왔다.

한편, 사고를 일으킨 TMI-2號爐에 대해서는 사고 수습후 TMI-2號爐의 복구작업이 시작되었다. 복구작업에서는 원자로의 除染에서 손상된 爐心의 철거까지 일련의 作業이 행해지고 있는데, 이 作業을 통해서 얻어진 정보에 의해서 앞으로 原子爐를 보다 한층 더 安全한 것으로 하는데 도움이 되는 귀중한 정보가 많다.

이는 原子力安全委員會가 제3차 원자력발전소 사고조사 보고서에서 「…복구작업에 중대한 관심을 기울여야 한다」고 정보의 중요성을 지적하고 있는 것으로도 명백하다.

복구작업의 내용에 대해서는 GEND(GPU, EPRI, NRC, DOE)의 報告書로 일반에 공개된 것이 많다. 또, 美國에너지省에서는 복구작업에서 얻어진 정보를 有效하게 활용하기 위해 「T

MI-2號機에 관한 R&D計劃」을 실시하고, 연구·개발의 면에서 복구작업에 관계하고 있다.

2. 플랜트의 損傷狀況

TMI-2號爐는 爐心의 냉각재를 상실한 결과 燃料가 고온이 되어 피복판에 손상을 가져왔고 爐心이 크게 損壞되었다. 또, 지르코늄·물의 反應에서 발생한 수소가 격납용기내에서 연소하여 機器類에 손상을 주었다. 이들 손상상황의 조사가 원자로용기내, 원자로건물내로 나뉘어서 행해졌으며, 그 손상상황이 명백해졌다.

2.1 原子爐容器內 損傷狀況

원자로용기내에서는 지금까지 CCTV 카메라에 의한 관찰, 超音波soner挿入検査, 爐心內堆積物(debris)採取検査 등이 행해져서 손상상황의 윤곽이 명백해지고 있다. 주요한 결과는 다음과 같다.

1) CCTV카메라挿入検査

爐心内部의 상황을 관찰하기 위해 1982년 7월에 CCTV카메라를 삽입해서 처음으로 爐心内部의 상황을 촬영하는데 성공했다. 그 후 촬영기술이 향상되어 보다 선명한 画面이 얻어지게 되어 爐心의 상황이 한층 더 명백해졌다.

CCTV카메라는 그림1에서 같이 制御棒驅動機構의 리이드스크루를 철거한 후 制御棒案内管을 통해서 삽입되었다. 작업원은 원자로용기상부의 작업대에서 카메라를 수동으로 조작했다. 그리드에는 피복판殘骸이 남아있는 부분과 피복판이 완전히 뜯어져 빠진 부분이 있음을 알 수 있었다. 남아있는 피복판부분의 길이는 약30cm 정도이고 燃料棒플레넘스프링이 보이는 연료봉도 있다. 촬영된 비데오테이프의 原画面에서는

피복관이 일부 용융되었다고 생각되는 곳도 볼 수 있었다.

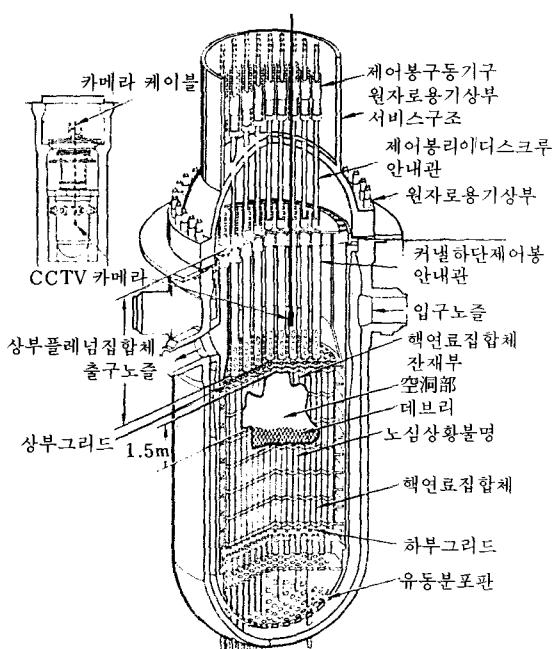
데브리는 피복관의 일부, 피복관용융물,燃料펠렛, 기타 용융금속 등으로 구성되어 있는 것으로 추정되고 있다. 사진에서는 연료봉플레넘스프링이 떨어져서 옆으로 누워 있는 것을 볼 수 있었다. 이 외에 CCTV카메라에 의한 관찰에서 명백하여진 것은 爐心상부의 연료집합체는 거의 損壞되어 남아있지 않다는 점, 상부 플레넘의 변형은 그다지 없었다는 것이다. 특히, 後者は 앞으로 행해질 플레넘 철거의 展望을 밝게 하는 자료가 될 것이다.

2) 超音波 soner 插入検査

1983년 8월에 爐心손상의 크기를 定量的으로 측정하기 위해 초음파소너를 爐心에 삽입하여 空洞의 크기를 측정했다. 이것이 초음파소너삽입검사이다. 초음파소너는 超音波發信器를 一體로 한 것인데 CCTV카메라挿入時와 같이 제어봉구동기구에서 부터 爐心中에 삽입되었다.

이 탐지기는 6방향(상하45°, 30°, 수평방향, 아

〈그림 1〉 CCTV 카메라挿入概念圖



래방향35°, 60°, 直下方向)에 동시에 초음파를 發受信할 수 있는 구조로 되어 있다. 이 탐지기를 상하방향으로 약1.5cm씩 이동시켜 円周방향으로 0.4°씩 회전시켜서 爐心内 空洞의 크기를 측정하였다. 각 측정위치에서 얻어진 反射波의 위치로 爐心内 空洞의 크기를 알 수 있다.

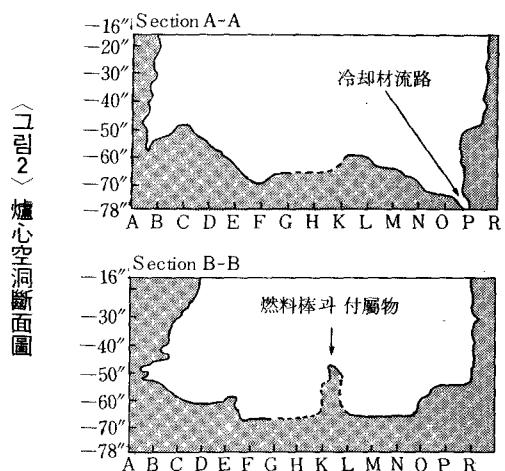
그림2는 反射波의 위치로 판명된 爐心内 空洞을 나타낸 단면도이다. 이 그림으로 爐心상부에서는 거의 전역에 걸쳐 연료집합체가 損壞되어 아무 것도 남아있지 않음을 알 수 있다. 그림2에서와 같은 측정결과는 각 계측위치마다 6방향이 얻어지고 있는데, 총데이터수는 약50만개가 되므로 이것을 컴퓨터로 處理하여 爐心空洞의 형상을 추정하여 3차원의 지도를 작성했다.

초음파소너삽입검사의 결과, 명백해진 것은 爐心上部는 대폭적으로 손상을 받아 붕괴되어 있으며 상부그리드하단에 燃料棒의 잔해가 20~30cm남아있는 외에 깊이 약1.5~2.0m가 空洞으로 되어 있다는 점이다.

3) 데브리採取検査

爐心内에 퇴적된 데브리의 形狀과 性狀을 조사하기 위해서 데브리採取器具를 사용하여 채취검사가 1983년 9월에 행하여졌다. 그림3에 데브리채취의 概念圖를 나타내었다.

채취기구는 表面의 데브리채취기구와 데브리



層内部의 채취기구 두종류로서 爐心의 中心部와 中間部 2개소에 삽입하여 전부 6개의 샘플을 채취하였다.

中間部 採取時에는 비교적 용이하게 채취기구를 삽입하였지만 中心部의 경우에는 表面下 약 41~56cm의 層에서 삽입이 어려운 곳이 있었다. 데브리의 크기는 1mm이하에서부터 15mm까지 分布되어 있었다.

이번 검사에서는 채취기구의 길이관계로 表面下 약 64cm까지 밖에 삽입할 수 없었기 때문에 그 아래 下部의 데브리層内部의 狀況은 불명확하다. 데브리의 性狀 및 表面下 약 64cm보다 더 깊은 下層의 데브리層의 構成에 대해서는 앞으로 검사가 행하여질 예정이다.

4) 其他検査와 앞으로의 展望

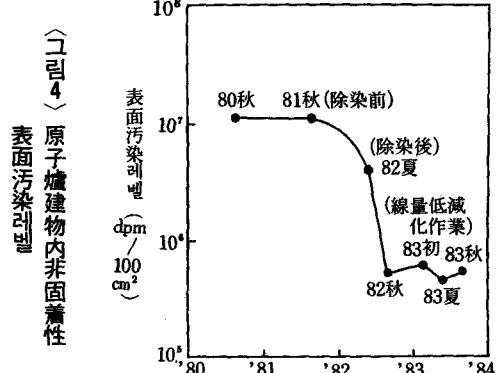
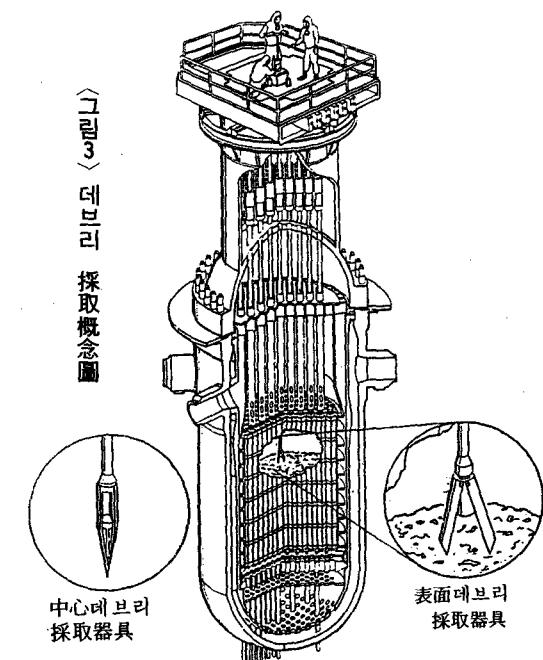
그외에 행하여진 검사중 主된 것은 軸方向出力分布調整棒(APSR)의 再挿入試驗, 固體飛跡검출기(SSTR)에 의한 검사, 제어봉구동장치리이드스크루검사이며 이와 같은 검사결과에서 봉괴된 核燃料가 下部플레넘에 축적되어 있는 것, 제어봉구성물질(Ag-In-Cd)이 제어봉 안내관인 Zr과 反應한 것, 리이드스크루에 Cs가 強固하게 부착되어 있는 것이 판명되었다.

原子爐内 損傷狀況에 대해서는 原子爐容器의 윗뚜껑撤去, 上부플레넘撤去, 손상된 핵연료의 取出 등의 작업진행과 함께 사고의 經過를 定量的으로 알려줄 데이터가 앞으로 얻어질 것으로 기대되고 있다.

2.2 原子爐建物內 損傷狀況

原子爐建物內는 스프레이水의 散布, 수소연소에 의해서 高温高湿環境이 되었기 때문에 많은 機器와 計裝器類가 손상을 입었다. 특히, 수소연소에 의해서 생긴 高温, 爆風, 급격한 압력상승에 의하여 손상이 커짐이 원자로건물내 立會 檢查 및 샘플검사시 階段門의 변형, 많은 종류의 有機材 變形, 용융 등에서 확인되었다.

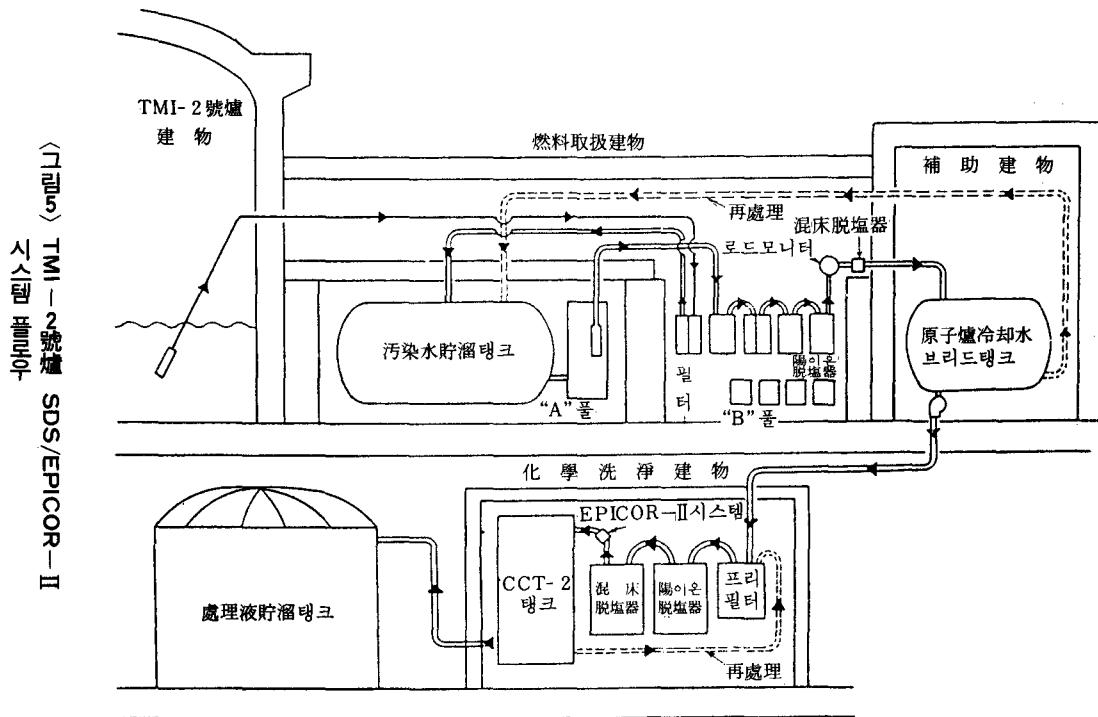
檢査結果에서 수소연소의 영향은 建物內 南



東部의 엘레베터와 계단부근에 限定되고 있으며 위치가 높을수록 高溫이었음이 밝혔졌다.

계측기기류는 수소연소에 의한 기계적 충격, 스프레이水의 浸入에 의한 고장이 GM管式 방사선도너터와 전리함식 모니터에 나타난 외에水分에 의해서 절연재의 인피던스변화 등이 있었다. 또한, 高放射線에 의하여 金屬酸化物半導體(MOS 트랜지스터)가 손상을 받았다.

TMI-2號爐의 사고에서는 計測機器類가 高温, 高濕, 高放射線의 상황에 놓여져서 고장과 손상을 입었는데, 이와 같은 원인을 명확히 함



으로써 計裝機器類의 개선 등에 유용한 정보를 얻게 될 것으로 기대되고 있다.

3. 除染作業

TMI-2號爐의 복구작업중 제일 먼저 행해진 것은 原子爐建物과 補助·核燃料취급건물의 제염작업이다. 이것은 建物內의 선량률 및 공기중 방사능을 低減시켜, 복구작업을 원활히 진행시키기 위함이었다.

原子爐建物의 제염은 1982년 6월부터 1983년 7월까지 大規模除染實驗으로서 主로 기계적 제염법에 의한 除染이 행하여졌다. 이와 같이 하여 表面汚染れ벨은 그림 4에 나타난 바와 같이 低減되었다.

앞으로 除染作業의 課題는 原子爐建物下部, 補助·核燃料取扱建物, 原子爐 1次系統의 高線量領域 제염방법이다. 특히, 原子爐建物下부의 제염에 대해서는 원격조작에 의한 방법이 必要하며 현재 카네기메론大學의 로보트研究所에서

개발이 진행되고 있다.

原子爐 1次系統의 제염은 化學的除染法을 포함한 제염법의 개발이 이루어지고 있으나 본격적인 제염은 核燃料 등의 撤去後로 예정되고 있다.

4. 廢棄物處理·處分

TMI-2號爐의 사고 및 그 복구작업에서 발생하는 방사성폐기물은 低레벨고체폐기물, 액체폐기물, 특수폐기물로 분류할 수 있다. 이중 低레벨고체폐기물은 原子力發電所의 通常運轉時に 발생하는 것과 同種의 것으로서 壓縮性인 것은 압축감용후 200ℓ 드럼에, 非압축성인 것은 木製低比放射能容器에, 이온교환樹脂 등은 鋼製容器에 각각 封入하여 商用處分場에 處分하고 있다.

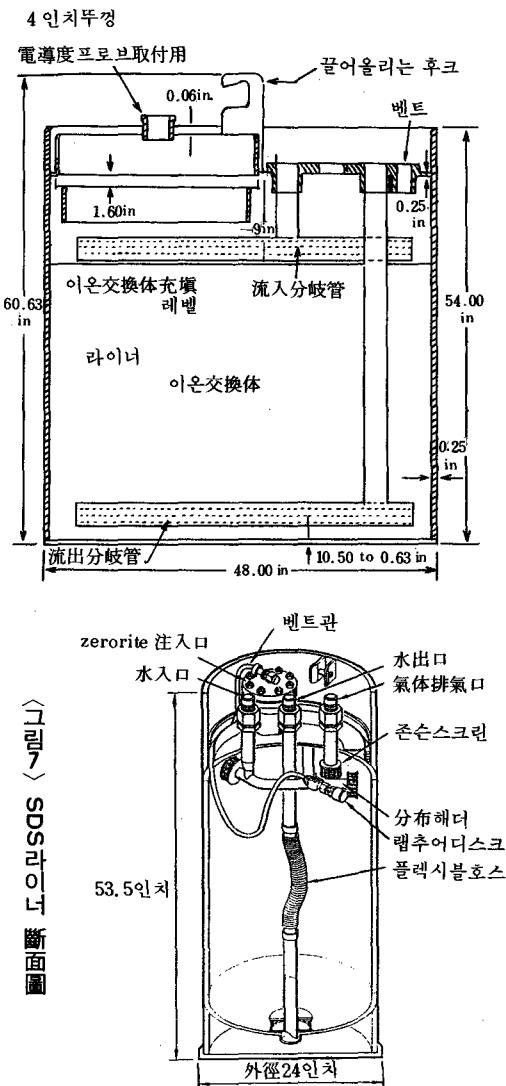
액체폐기물은 事故時に 원자로전물 및 보조·핵연료취급건물에서 발생한 高污染水이다. 이 高污染水는 그림 5에 나타낸 바와 같이 EPIC-



OR-II 및 SDS 시스템에 의해 處理되며, 處理된 폐액은 사이트내의 貯溜탱크에 저장하여 除染用으로 再使用한다.

특수폐기물은 액체폐기물처리에 사용되는 EPICOR-II 라이너(그림 6) 및 SDS라이너(그림 7), 1차냉각계통의 기기류 등 高방사성의 폐기물로서 특수폐기물은 통상의 방법으로는 商用處分場에서 處分되지 않기 때문에 새로운 技術開發이 必要하다.

〈그림 6〉 EPICOR-II 라이너의 斷面形狀圖



〈그림 7〉 SDS라이너 斷面圖

지금까지 EPICOR-II 라이너가 50개 발생하였는데, 1983년 8월까지 아이다호國立工學研究所에 보내어 이중 3개에 대해서 특수시험을 실시하여 處分時의 安全性을 확인하였다.

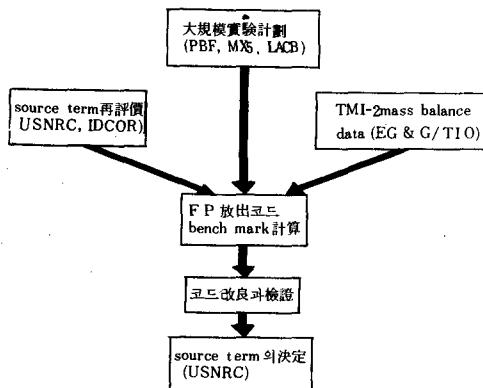
한편, 나머지 47개에 대해서는 健全성이 높은 容器에 封入하여 상용처분장에 처분할 예정이지만 處分實施에 있어서는 현재 심의중인 10 CR61의 要件을 만족시킬 必要가 있다.

한편 SDS라이너는 지금까지 13개가 발생하

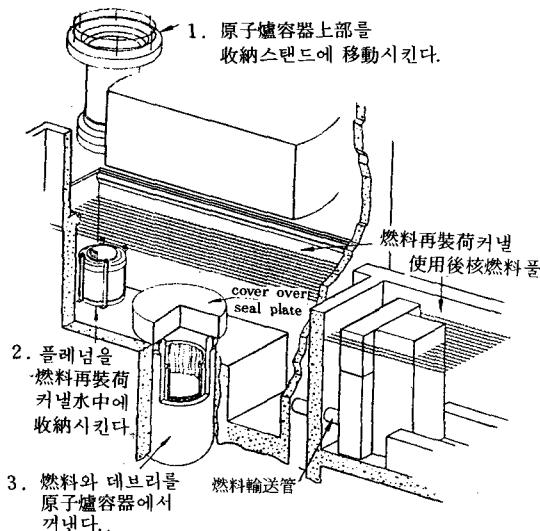
〈表1〉 DOE R&D計劃의 構成

主題	項 目	內 容
데이터取得	• 計裝, 電氣 관련데이터	• 放射線計裝 • 電線, 케이블 • 抵抗溫度計 • 計測信號傳送器 • 爐內計裝 • 電氣機器 • 포울러크레이인
	• 放射線, 環境관련데이터	• 一次系 • 格納容器 • 事故評價
廢棄物處理	• 廢棄物固化	• 淨化裝置(SDS) 필터 廢棄物 • 기타의 淨化系廢棄物 • 原子爐建物地階堆積物
	• EPICOR-II 시스템	• 廢棄物處理法 • 廢棄物處分法
爐心評價	• 爐心取出	• 리이드스크루検查 • 上部 해드調査 • 상부 떼어내기 • 燃料取出試驗 • 커넬 물채우기 • 플레넘除去 • 燃料꺼내기 • 燃料輸送
	• 爐心試驗	• 포토그래피開發 • 損傷爐心評價

〈그림 8〉 Mass Balance/Source
Term計劃의 遂行方法



〈그림 9〉 核燃料를 꺼내는 순서



였는데, 이중 3개를 퍼시픽노스웨스트 研究所로 輸送하여 글래스固化試驗을 하였다. 나머지 10 개에 대해서는 EPICOR - II 라이너에 비해서 약 10배의 放射能量인 SDS라이너부터 強化콘크리트製容器에 封入하여 20年間 연방저장소에 보관하여 안전성검사실시후 최종처분을 결정한다. 그리고 이에 앞서 SDS라이너 1개를 한포드운영사무소에서 試驗的으로 저장할 예정이다.

5. R&D計劃과 앞으로의 展望

TMI - 2 號機의 복구작업은 GPU 뉴클리어社

TMI - 2 號機 복구작업의 진전에 따라 損傷狀況, 除染, 廢棄物處理, 處分 등에 관한 많은 정보가 얻어지고 있으며, 이들 정보는 爐心損傷事故評價, 事故處理, 解体遼解作業 등에 대단히 유용하다. 앞으로도 美에너지省의 R&D計劃을 중심으로 복구작업의 성과에 계속 주목할 必要가 있다.

에 의해 계속 行하여지고 있으나, 재정적으로 엄격한 상황이어서 작업은 당초 예정보다 대폭 지연되었다.

美國에너지省의 「TMI - 2 號機에 관한 R&D計劃」은 TMI - 2 號機의 복구작업에 따라 얻어지는 많은 정보, 新技術을 앞으로의 原子爐 安全性 向上에 유효하게 활용할 수 있는 것으로表 1과 같이 4개의 계획으로 구성되어 있다.

이중 방사선·환경관련테이터는 爐心損傷事故時의 source term 평가의 데이터베이스로 기대되고 있다(그림 8).

爐心取出中 1983년으로 예정되었던 原子爐와 뚜경제거작업은 최근 실시되었다(그림 9). 그후 核燃料取出과 운반에 이르기까지의 방법은 현재 검토단계이나 技術的, 法規的으로 어려운 점이 많이 예상되고 있다.

6. 結論

TMI - 2 號機 복구작업의 진전과 함께 플랜트의 손상상황, 제염, 폐기물처리·처분에 따른 많은 정보가 얻어지고 있다.

이와 같은 정보는 爐心損傷事故評價, 만일의 事故處理, 앞으로 원자로해체작업 등에 있어서 대단히 유용한 것이 많다.

앞으로도 미국 에너지성의 R&D計劃을 중심으로 하는 복구작업을 통하여 얻어지는 성과에 계속 주목할 필요가 있다.